УДК 621.396

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК НИЗКОСКОРОСТНЫХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ LORA-МОДУЛЯЦИИ

RESEARCH OF CHARACTERISTICS OF LOW-SPEED INFORMATION TRANSMISSION SYSTEMS BASED ON LORA-MODULATION

Д.А. Гондин – магистрант, Институт информационных технологий и радиоэлектроники, Кафедра ВТиСУ, группа ВТм-118, E-mail: morran@morran.xyz

А.С. Меркутов – научный руководитель, к.т.н., доцент, Институт информационных технологий и радиоэлектроники, Кафедра ВТиСУ, E-mail: merkutov2013@yandex.ru

D.A. Gondin – undergraduate, Vladimir state university, E-mail: morran@morran.xyz

А.С. Меркутов – candidate of technical sciences, docent, Vladimir state university, E-mail: merkutov2013@yandex.ru

Аннотация: Разработаны макеты устройств и программное обеспечение, обеспечивающие проведение тестирования системы дистанционного управления с использованием технологии LoRa на физическом уровне. Проведены испытания программно-аппаратного комплекса.

Abstracts: Device layouts and software have been developed for testing the remote control system using LoRa technology at the physical level. The hardware and software complex was tested.

Ключевые слова: обработка данных, интернет вещей, программно-аппаратная система, система на чипе, LoRa.

Keywords: data processing, internet of things, hardware and software system, system on chip, LoRa.

Широкополосный радиосигнал LoRa представляет собой сигнал с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ) или CSS (Chirp Spread Spectrum). Частота CSS радиосигнала может как увеличиваться (up-chirp), так и уменьшаться (down-chirp). Математически ЛЧМ сигнал представляется в виде выражения:

$$x(t) = A_0 * cos(\omega_0 * t + \frac{\mu}{2} * t^2) \quad 1)$$

где t равен от минус Tsym / 2 до плюс Tsym / 2 и описывается следующими параметрами:

– BW – ширина спектра радиосигнала;

– SF– коэффициент расширения спектра (изменяется в диапазоне от 7 до 12);

– $T_{sym} = {2^{SF}}/{BW}$ – длительность радиосигнала;

– $\mu = {BW}/{T_{sym}}$ – скорость изменения частоты радиосигнала.

Проектирование проводилось на основе результатов исследования математической модели модулятора сигнала LoRa в системе математического моделирования MatLab [1].

В ходе проектирования комплекса было разработано два типа устройств: стационарное и мобильное. Стационарные устройства включают в себя набор из двух радиомодулей, а мобильные - один радиомодуль и разъем для подключения различных датчиков или дисплея.

Разработка макетов составных частей комплекса включала в себя следующие этапы: выбор электронной компонентной базы, разработка принципиальной схемы в САПР Kicad, разработка топологий печатных

плат устройств в САПР Kicad и их изготовление, разработку 3D моделей корпусов в САПР FreeCAD, 3D печать корпусов устройств, монтаж и сборка готовых устройств.

За основу стационарного устройства было взято устройство базовой станции от системы беспроводного сбора и обработки данных на основе LoRa-технологии [2].

Печатная плата стационарного устройства представляет собой мезонинную плату, крепящуюся поверх одноплатного ПК Raspberry PI через штыревой разъем. Устройство представляет собой два радиомодуля и GPS-приемник NEO-6M, который может быть использован для получения точного времени и местоположения. Принципиальная схема и трассировка платы взяты от базовой станции для разработанной ранее системы сбора и обработки данных.

Мобильное устройство представляет собой плату, на которой расположен микроконтроллер, управляющий радиомодулем. Устройство должно работать от двух батарей типа AAA. На мобильном устройстве предусмотрены посадочные места для SPI Flash памяти, которая может использоваться для логгирования, и штыревой разъем для подключения внешних устройств по интерфейсу I2C (например, LCD дисплей). Трассировка печатных плат выполнялась вручную в программе pcbnew, входящей в состав САПР KiCad.

Разработка корпусов устройств производилась в САПР трехмерного параметрического моделирования с открытыми исходными кодами FreeCAD. Данный САПР позволяет проектировать твердотельные модели, которые затем экспортируются в формате STL для дальнейшей нарезки на слои и генерации G-Code. Нарезка производилась в слайсере для 3D принтеров, работающих по технологии FDM, Ultimaker Cura.

Разработанное программное обеспечение представляет собой управляющую программу для стационарного устройства и прошивку для микроконтроллера мобильного устройства. Управляющая программа стационарного устройства по команде настраивает радиопередатчик с заданной модуляцией и параметрами выбранной модуляции, а затем отправляет тестовые пакеты в радиоэфир через определенный промежуток времени. Прошивка мобильного устройства отвечает за конфигурацию радиоприемника и вывод на LCD дисплей параметров принимаемых пакетов данных, а именно мощность сигнала полученных пакетов, отношение сигнал/шум и вычисленное на основе содержимого полученных пакетов.

Испытания программно-аппаратного комплекса проводились в черте города Владимира. Передача пакетов информации осуществлялась на частоте 433 МГц при мощности передатчика 10 мВт и полосе модуляции 125 кГц. Стационарное устройство находилось на высоте 8 этажа, мобильное – на высоте 1,5 м от поверхности земли. Некоторые результаты тестирования в зависимости от расстояния между базовым и мобильным устройствами приведены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты испытаний (SF – коэффициент расширения спектра, RSSI – мощность принятого сигнала, PER – пакетная ошибка, v- скорость данных)

Расстояние, м	SF = 7; v= 4 кбит/с		SF = 12; v= 0.244кбит/с	
	RSSI, дБм	PER, %	RSSI, дБм	PER, %
3	-48	0	-48	0
133	-76	0	-74	0
343	-80	0	-80	0
1010	-96	5	-97	0
1520	-114	40	-113	2
2420	-	-	-126	5

2650	-	-	-130	44

Приведенные результаты значительно превосходят характеристики систем с FSK-модуляцией, полученные в аналогичных условиях эксперимента. Например, для скорости потока данных v=4 кбит/с дальность связи системы с модуляцией LoRa оказалась почти в 2 раза больше.

Список используемой литературы:

1. Гондин Д.А., Меркутов А.С. Модель системы передачи низкоскоростных данных на основе LoRa-модуляции / Перспективные технологии в средствах передачи информации. Материалы 13-ой международной научно-технической конференции / Владим. гос. университет, в 2-х томах; редкол.: А.Г. Самойлов (и др). – Владимир: ВлГУ. – 2019, том II. - С. 149 - 151.

2. Гондин Д.А., Меркутов А.С. Система беспроводного сбора и обработки данных на основе LoRa-технологии /Прикладная математика и информатика: современные исследования в области естественных и технических наук: Сборник научных статей IV научно-практической международной конференции (школы-семинара) молодых ученых: 23-25 апреля 2018 г. В двух частях. – Тольятти: Издатель Качалин Александр Васильевич, 2018. – С. 79-83.